

Caracterización geoquímica del medio ambiente en un yacimiento petrolífero cubano. Parte 2: aguas

Verlayn Paumier, Miguel Díaz* y Ana Núñez

Centro de Investigaciones del Petróleo (CEINPET)
Washington 169 Esq. Churrucá, Cerro, CP 12000, Ciudad de la Habana, Cuba

Recibido 9 Marzo 2007, Revisado 7 Mayo 2007, Aceptado 29 Mayo 2007

Geochemical characterization of the environment in a Cuban oil field. Part 2: water

Abstract

A study over the environmental geochemistry in the Pina oil field was conducted, including the characterization of air, water, and soil matrixes, by applying the integral study concept, from the emission source till the technological solution. Water samples from 18 receiving pits of drilling wastes and Collector Unit of Pina oil field, were characterized with a view to determine the pollution level of them in relation to the environmental regulation for this kind of wastes. Technological solutions are given in order to reduce the environmental impact of the oil activity in the zone.

Keywords: environment, impact, pollution, geochemistry, disposal, discharges.

Resumen

En el estudio de la geoquímica del medio ambiente en el yacimiento de Pina que incluye la caracterización de las matrices aire, agua y suelo, aplicando el concepto de estudio integral para el control de la contaminación, desde la fuente de emisión hasta las soluciones tecnológicas, se caracterizaron las aguas de 18 piscinas receptoras de aguas residuales de perforación y del Centro Colector en el yacimiento de Pina, efectuando un análisis de los contaminantes fundamentales en estos residuos con relación a los niveles establecidos en las regulaciones ambientales para vertimientos de este tipo. Se recomiendan soluciones tecnológicas para la disposición y tratamiento de las aguas con vistas a reducir el impacto ambiental de la actividad petrolera en la zona.

Palabras clave: medio ambiente, impacto, contaminación, geoquímica, disposición, vertidos.

Introducción

La geoquímica del medio ambiente se orienta a determinar cuáles son las anomalías generadas por la actividad del hombre, para lo cual indica cómo está constituido el ambiente natural, evalúa el grado de modificaciones que sufre el medio por los distintos contaminantes y estima los factores de recuperación y los recursos para lograrlos (Eby, 2003; Duursma y Carroll, 1996).

Durante la perforación de yacimientos de petróleo se utilizan diferentes sustancias químicas como aditivos de los lodos, las que además pueden reaccionar con los cortes de perforación, formando una mezcla compleja que requiere de análisis

químico para evaluar los constituyentes de fluidos y sólidos, y determinar su toxicidad y agresividad al medio ambiente.

Las aguas de extracción son líquidos que salen del subsuelo junto con el petróleo y se componen esencialmente de agua, pero pueden contener otros elementos tales como hidrocarburos, metales disueltos, sólidos suspendidos y algunas sustancias químicas que caen al pozo durante las operaciones (Boethling y Mackay, 2000; World Bank, 1998). La disposición de estos fluidos es una función del cumplimiento de los parámetros establecidos para estos contaminantes.

Una práctica internacional para el manejo de residuos durante la actividad de exploración-producción ha sido el uso de piscinas o sumideros para

* Autor para correspondencia

E-mail: michael@ceinpet.cupet.cu; Tel: +537 6494102 Fax: +537 6426021

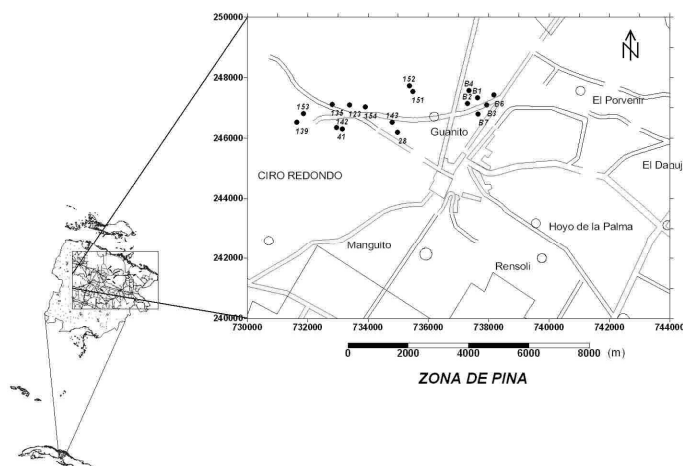


Figura 1. Mapa esquemático de la zona del yacimiento de Pina señalando los sitios de muestreo del estudio (escala 1:25 000).

la recolección de los residuos líquidos de perforación con vistas a su posterior tratamiento o disposición (Eckenfelder, 2000; Metcalf y Eddy, 2003).

Una práctica aceptable para la disposición de los fluidos es su inyección a profundidades, el esparcimiento superficial o el reuso (Cheremisinoff, 2001; Metcalf y Eddy, 2003).

Entre los requisitos mínimos aceptables para el retiro de servicio de un sitio de producción petrolera se encuentran el monitoreo de los recipientes de contaminantes que permanecerán en el lugar durante la vida de la zona, y la limpieza del mismo a un nivel que proporcionará protección ambiental a largo plazo y que será seguro para el uso futuro al que se destine (World Bank, 1998).

En el yacimiento Pina, localizado a unos 500 km hacia el este de La Habana, las aguas y lodos de perforación y extracción de petróleo se han estado vertiendo en excavaciones en tierra que se emplean como piscinas receptoras, donde están sometidos a procesos naturales de evaporación y degradación biológica.

El objetivo fundamental de este estudio ha sido la caracterización geoquímica del medio ambiente en el yacimiento Pina, con el objetivo específico de determinar los niveles de contaminantes en aguas de 18 piscinas receptoras de residuos líquidos de perforación y extracción del yacimiento; además de

establecer si la concentración de contaminantes se encuentra dentro de los límites de las regulaciones ambientales para estos vertimientos y definir medidas para garantizar la protección del medio ambiente.

Material y métodos

Las piscinas de residuos evaluadas durante el estudio de caracterización de las aguas y sedimentos de perforación y extracción están localizadas en el yacimiento de Pina (500 km hacia el este de La Habana) y fueron seleccionadas a criterio de la empresa (ver área de estudio en Figura 1). Las mismas se han numerado según el pozo al que corresponden y se relacionan en la Tabla 1. También se incluyó en el estudio la piscina del Centro Colector del yacimiento Pina (CC).

Los parámetros a determinar se seleccionaron de acuerdo a las características de estos residuos y a las regulaciones ambientales de CUBAPETROLEO (CUPET) para la actividad de perforación y extracción de petróleo en tierra (CUPET, 2000). Los análisis se realizaron por técnicas gravimétricas, espectrofotométricas, potenciométricas, valorimétricas y cromatográficas (Tabla 2), según métodos standards (APHA, 1998; ISO, 2007).

Las muestras de aguas se tomaron con un muestreador de 2.5 litros de capacidad, según el

Tabla 1. Relación de piscinas evaluadas en el yacimiento de Pina.

Pozo 28	Pozo 143	Pozo Brujo 1
Pozo 41	Pozo 151	Pozo Brujo 2
Pozo 123	Pozo 152	Pozo Brujo 3
Pozo 135	Pozo 153	Pozo Brujo 4
Pozo 139	Pozo 154	Pozo Brujo 6
Pozo 142	Pozo Paraíso	Pozo Brujo 7

Tabla 2. Contaminantes seleccionados y método de ensayo empleado.

Parámetro	Método	Parámetro	Método
Hidrocarburos Totales	APHA 5520	Sulfatos	ISO 9280
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	ISO 6060	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	ISO 5815
pH	ISO 10523	Cromo VI	APHA 3500
Sólidos Suspendidos	APHA 2540	Níquel	ISO 8288
Sólidos Disueltos Totales	APHA 2540	Cobre	ISO 8288
Fenoles	ISO 6439	Cadmio	ISO 8288
Sulfuros	APHA 4500	Sodio y Potasio	ISO 9964

método manual normalizado ISO 5667 (ISO, 2007b). Se tomaron muestras puntuales en los sitios seleccionados y se preparó una muestra compuesta de cada piscina. Las muestras fueron divididas en submuestras, envasadas en frascos de 1 litro y preservadas de acuerdo al análisis posterior al cual iban a ser sometidas, según metodologías establecidas (ISO, 2007b).

Para el análisis de hidrocarburos, las muestras fueron sometidas a extracción por agitación con tetracloruro de carbono en un embudo separador con tapa y llave de teflón. La fase acuosa fue descartada y la fase orgánica se trató con sulfato de sodio anhidro para desecarla. La determinación cuantitativa se realizó por espectroscopia FTIR con equipo modelo Mattson 1000 de la firma Pye Unicam, registrando los espectros en la zona de 3200-2700 cm⁻¹.

La demanda química de oxígeno (DQO) se determinó según el método del dicromato de potasio (ISO 6060), por oxidación de la materia orgánica a reflujo y posterior valoración del exceso de oxidante con solución de sulfato ferroso amoniacal e indicador ferroín. La demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) se realizó por el método de dilución y siembra (ISO 5815), determinando el consumo de oxígeno después de un período de incubación a 20 °C durante 5 días.

Los sólidos disueltos (SDT) y suspendidos se determinaron según el método gravimétrico (APHA 2540), empleando una balanza analítica

Mettler con precisión 0.0001 g. Los contaminantes fenoles, sulfuros, sulfatos y cromo VI se determinaron espectrofotométricamente con Analizador Hydrocheck. Los metales Cu, Cd y Ni fueron analizados por Absorción Atómica en un espectrofotómetro GBC, modelo AVANTA Σ, con llama aire/ acetileno, empleando lámparas de cátodo hueco de cada uno de los elementos. Las curvas de calibración se realizaron partiendo de patrones de 1000 mg/l de concentración de cada elemento. Las longitudes de onda utilizadas para la detección de Ni, Cu y Cd fueron 232, 324 y 228 nm, respectivamente. El pH se determinó con electrodo combinado en metro de pH de laboratorio Mettler Toledo.

Los datos se procesaron con el empleo del programa STATISTICA versión 5.5 para determinar el comportamiento promedio y las correlaciones de interés entre los parámetros de las piscinas agrupadas en dos grandes grupos atendiendo a su localización geográfica, mediante el análisis estadístico multivariado.

Resultados y discusión

Como se aprecia en la Tabla 3, de acuerdo a las regulaciones ambientales para esta actividad en el país (CUPET, 2000), los niveles de materia en suspensión (S.Susp.), materia orgánica total (DQO) y la fracción de ésta biodegradable (DBO₅), cumplen con los parámetros fijados para los

Tabla 3. Caracterización de las aguas de las piscinas y regulaciones ambientales. Contaminantes orgánicos⁽¹⁾.

Piscinas	H/C	DQO	DBO ₅	S Susp.	Fenoles	Sulfuros
28	0.58	37	4.0	6	0.35	0.05
41	0.83	128	-	8	-	38
123	0.79	87	<3.0	10	0.43	0.33
135	0.35	232	-	13	-	38
139	0.73	55	<3.0	20	5.29	0.11
142	1.48	39	<3.0	9	0.53	0.05
143	0.43	96	<3.0	11	0.37	0.34
151	51.0	221	<3.0	62	4.25	0.07
152	0.86	346	3.1	21	1.39	0.63
153	0.93	<30	6.4	14	0.45	0.06
154	0.73	180	-	16	0.69	0.52
Brujo 1	0.58	206	-	15	-	49
Brujo 2	0.14	265	-	27	-	38
Brujo 4	1.99	176	-	22	-	43
Brujo 6	0.13	<30	-	8	-	38
Brujo 7	0.27	232	-	24	-	38
Paraíso	-	-	-	83	-	30
CC	2 373	461	40	363	8.12	49
CUPET ⁽²⁾	AC ⁽³⁾	100-600	20-60	100	-	0.50
WB ⁽⁴⁾	20	-	50	50	1.0	-

⁽¹⁾ Resultados promedios expresados en mg/l.

⁽²⁾ Regulación Ambiental 01/95. Manejo de residuales durante la perforación de pozos de petróleo en tierra (on shore). CUPET.

⁽³⁾ El contenido de hidrocarburos se define por las Autoridades Competentes en función de los requerimientos ecológicos del punto de disposición final.

⁽⁴⁾ Niveles de efluentes que se deben alcanzar en la producción de petróleo y gas en tierra (World Bank, 1998).

mismos en todas las piscinas, excepto la materia en suspensión en el Centro Colector. Los niveles de sulfuro en la mayoría de las piscinas resultaron muy superiores a lo regulado por CUPET para este contaminante.

Con relación a los niveles de hidrocarburos, se observa que sus concentraciones oscilan entre 0.1–2.0 mg/L, excepto para la piscina del pozo 151 que resultó ser unas 50 veces superior al valor medio encontrado en el resto de las piscinas. Aunque este parámetro se fija por las autoridades competentes en función de los requerimientos ecológicos del punto de disposición final, se considera que los niveles de hidrocarburos en estas piscinas son aceptables (excluyendo la del pozo 151) para disponer estas aguas por evaporación, uno de los métodos aceptados de disposición final (CUPET, 2000).

Los niveles de hidrocarburos en la piscina del Centro Colector resultan muy elevados para cualquier tipo de disposición y requiere de un

tratamiento previo de separación de hidrocarburos por diferencia de densidades (Schultz, 2006). Esta piscina se convirtió prácticamente en un depósito de combustible al aire libre y al nivel de suelo, lo que se consideraba un peligro potencial para las instalaciones del Centro Colector, por lo que se construyó una cisterna de 180 m³ que recibe los residuos del yacimiento.

Los fenoles no están considerados en las regulaciones ambientales de CUPET para esta actividad, pero los niveles encontrados en las piscinas de los pozos 139, 151 y 152, así como en la piscina del Centro Colector, se consideran elevados para este tipo de contaminante de acuerdo a los criterios de evaluación para el agua de la Asociación Regional de Empresas de Petróleo y Gas en Latinoamérica y el Caribe (ARPEL) que regulan entre 0.1–1.0 mg/l para este parámetro (ARPEL, 1999).

Con relación a los niveles que se deben alcanzar en los efluentes líquidos de la actividad de producción

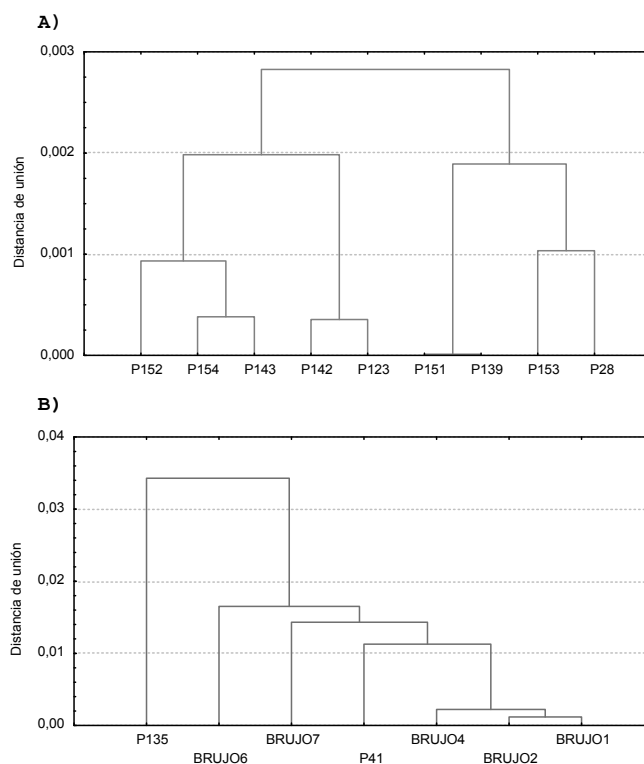


Figura 2. Diagramas de árbol obtenidos para: (A) primer grupo de piscinas y (B) segundo grupo de piscinas, de acuerdo a su localización en el yacimiento.

de petróleo y gas (en tierra), según las regulaciones del World Bank (1998), se observa en la Tabla 3 que las concentraciones de hidrocarburos y materia en suspensión en el pozo 151 y la piscina del Centro Colector, y de fenoles en los pozos 139, 151, 152 y Centro Colector, resultan superiores a lo regulado para la descarga directa de estos efluentes a aguas superficiales.

Para brindar una solución integral a la problemática de los residuos del centro colector se instaló un separador vertical de hidrocarburos (Favret, 2000; Terrien, 2000) que, por diferencia de densidades, permite recuperar el petróleo por la parte superior, y extraer el agua por la parte inferior e inyectarla a un pozo profundo. Para mejorar la eficiencia del separador instalado sería recomendable incorporarle un sistema de sifón, aplicando el concepto de la separación por gravedad extendida (EGOWS) desarrollado reciente (Tolmie, 2005).

Para los contaminantes inorgánicos se encontró que las piscinas de los pozos 139, 151, Brujo 7 y del Centro Colector no cumplen con las regulaciones ambientales para los sólidos disueltos totales, según se aprecia en la Tabla 4.

Con relación a los niveles de sulfato, las aguas de todas las piscinas cumplen con lo establecido. Para el pH, las aguas de las piscinas 28 y 143 resultan ligeramente básicas, mientras que las del pozo 139 y el Centro Colector del yacimiento Pina están ligeramente ácidas, de acuerdo al intervalo establecido para estos vertimientos.

La Relación de Absorción de Sodio encontrada en las aguas de las piscinas resultó superior a lo regulado para su uso en irrigación, excepto en las de los pozos 41, 135, Brujo 6 y Paraíso.

Para los metales pesados se encontraron concentraciones menores que la unidad en todas las piscinas, con la excepción del pozo Brujo 4, en la

Tabla 4. Caracterización de las aguas de las piscinas y regulaciones ambientales. Contaminantes inorgánicos ⁽¹⁾.

Piscinas	SDT	RAS	Sulfatos	pH	Cr	Cu	Ni	Cd
28	507	-	34	9.1	0.06	0.13	nsa	0.02
41	562	0.8	35	7.1	0.06	0.003	0.03	<0.005
123	611	-	30	7.8	0.05	0.35	0.30	nsa
135	1123	1.5	42	7.1	0.03	0.005	0.03	<0.005
139	5971	-	19	5.7	0.04	0.68	nsa	nsa
142	254	-	12	8.4	0.05	0.59	nsa	nsa
143	551	-	59	9.0	0.66	0.62	nsa	nsa
151	17181	-	44	7.2	0.07	0.73	0.08	0.07
152	1549	-	97	8.4	0.96	0.39	nsa	nsa
153	391	-	13	8.4	0.06	0.64	nsa	nsa
154	926	-	85	8.5	0.13	0.45	nsa	nsa
Brujo 1	3278	12	65	6.5	0.06	0.01	0.03	<0.005
Brujo 2	3024	21	24	7.0	0.97	0.26	0.03	<0.005
Brujo 4	3137	13	19	6.9	1.37	0.14	0.04	<0.005
Brujo 6	2047	2.3	22	6.9	0.06	0.02	0.02	<0.005
Brujo 7	5721	16	78	6.7	0.02	0.004	0.03	<0.005
Paraíso	3987	8	48	6.5	0.44	0.003	nsa	<0.005
CC	75188	39	70	5.5	0.08	0.24	0.04	0.036
CUPET ⁽²⁾	4000	-	2000	6.5-8.5	AC	AC	AC	AC
CCREM ⁽³⁾ (a)	500-3500	< 10	-	-	0.1	0.2-1	0.2	0.01
(b)	3000	-	-	-	1.0	0.5-5	1.0	0.02

⁽¹⁾ Resultados promedios expresados en mg/l.

⁽²⁾ Regulación Ambiental 01/95. El contenido de metales pesados se define por las Autoridades Competentes en función de los requerimientos ecológicos del punto de disposición final.

⁽³⁾ Criterios de tratamiento para el agua según posibles usos, Canadá (ARPEL, 1999).

(a) Irrigación; (b) Agua de beber para el ganado.

⁽⁴⁾ nsa - No se aprecia para el límite de detección del método analítico.

cual aparecen valores elevados de cromo. En las aguas del Centro Colector, los niveles de cadmio también fueron muy superiores a los detectados en las piscinas de perforación. Las regulaciones ambientales para estos elementos tóxicos las establecen las autoridades competentes en función de los requerimientos ecológicos del punto de disposición final.

Al comparar los niveles de concentración de los contaminantes inorgánicos en las aguas de las piscinas de perforación evaluadas con los criterios canadienses de tratamiento para estas aguas según los posibles usos y disposición (ARPEL, 1999), se tiene que están aptas para utilizar en irrigación de suelos o como aguas de beber para el ganado, excepto:

- las provenientes de la piscina 151 por el elevado contenido de sólidos disueltos y de cadmio,
- las provenientes de la piscina 139 y el Paraíso por los sólidos disueltos,
- las provenientes de la piscina Brujo 2 por la Relación de Absorción de Sodio (RAS),

• las provenientes de las piscinas Brujo 4 y 123 por el contenido de cromo y níquel, respectivamente.

En el caso de las aguas de la piscina del Centro Colector, los niveles de sólidos disueltos y de cadmio, así como el RAS encontrado, las invalidan para estos usos.

El análisis estadístico multivariado empleando el método de unión simple por las distancias $1 - r$ de Pearson nos muestra en los diagramas de árbol de la Figura 2A, dos grupos de piscinas bien definidos de acuerdo a las características físicas, químicas y biológicas de las aguas, uno en el que aparecen las piscinas de los pozos 28, 139, 151 y 153 donde se aprecia además una estrecha relación de las aguas de las piscinas de los pozos 28 con 153 y 139 con 151; y otro en el que se agrupan las de los pozos 123, 142, 143, 152 y 154 donde se observa una estrecha relación de las aguas de las piscinas de los pozos 123 con 142 y 143 con 154, dadas por las distancias de unión obtenidas.

En la Figura 2B se observa una fuerte asociación

entre las aguas de las piscinas de los pozos Brujo 1, Brujo 2 y Brujo 4, y en menor grado la relación de éstas con las de los pozos 41, Brujo 6 y Brujo 7. Las aguas de la piscina del pozo 135 no parecen estar asociadas con ninguna de las anteriores.

Las relaciones encontradas entre las aguas de las piscinas de estos pozos (Figuras 2A y 2B) están originadas tanto por los productos químicos utilizados en el lodo durante la perforación del pozo como por la composición geoquímica de las zonas donde se localizan.

Se debe señalar que a pesar del elevado contenido de sales disueltas en las aguas residuales de estas piscinas, se aprecia en general un proceso de biodegradación natural, dados los niveles de concentración de hidrocarburos y DQO aceptables encontrados, lo que puede ocurrir con la presencia de organismos tolerantes a medios salinos (Kargi & Dincer, 1999; Oren et al., 2004; Uygun & Kargi, 2004).

Se recomienda controlar la eficiencia del sistema de tratamiento instalado para las aguas residuales del Centro Colector. Además, se deberán disponer las aguas de las piscinas de perforación evaluadas una vez que estén fuera de servicio (excepto las de las piscinas 123, 139, 151, Brujo 4 y Paraíso) para su utilización en la irrigación de suelos en las zonas donde se localizan.

Bibliografía

APHA - AWWA - WEF. 1998. Standard Methods for the examination of water and wastewater. 20th ed. APHA Inc. N.Y.

ARPEL. 1999. GAA26. Control de la contaminación proveniente de las operaciones de exploración y producción.

77 p. Alconsult, Montevideo. Boethling, R.S. y D. Mackay, 2000. Handbook of property estimation methods for chemicals. Environmental and Health Sciences. 468 pp. Lewis Pub. N.Y.

CUPET. 2000. Regulación Ambiental 01/95. Revisión final. Manejo de residuales durante la perforación de pozos de petróleo en tierra (on shore). La Habana.

Cheremisinoff, P.N. 2001. Handbook of water and wastewater treatment technology. 833 pp. Marcel Dekker Inc. N.Y.

Duursma, E.K. y J.L. Carroll. 1996. Environmental Compartments, equilibria and assessments of processes between air, water, sediments and biota. 277 pp. Springer - Verlag, Berlin.

Eby, N. 2003. Principles of Environmental Geochemistry. 528 pp. 1st Ed. Brooks Cole.

Eckenfelder, W.W. 2000. Industrial Water Pollution Control. 275 pp. 3rd ed. Mc Graw Hill Co. N.Y.

Favret, U.B.Jr. 2000. Flotation pile oil/ water separator apparatus. WO 00/78679. C02F 1/24.

ISO. 2007. ISC Fields 13.060.50 Examination of water for chemical substances. <http://www.iso.org/>

ISO. 2007b. ISC Fields 13.060.45 Examination of water in general including sampling. <http://www.iso.org/>

Kargi, F. y A.R. Dincer. 1999. Biological Treatment of Saline Wastewater by Fed-Batch Operation. Journal of Chemical Technology & Biotechnology, 69: 167-172.

Metcalf & Eddy, Inc. y Tchobanoglous, G.. 2003. Waste water Engineering. Treatment and reuse. 1819 pp. 4th ed. Mc Graw Hill Co. N.Y.

Oren, A., P. Gurevich, M. Azachi y Y. Henis. 1992. Microbial degradation of pollutants at high salt concentrations. Biodegradation 3, 387-398.

Schultz, T.E. 2006. Improve oily wastewater treatment. Hydrocarbon Processing, 85: 103-11.

Terrien, R. 2000. Multi directional flow gravity separator. WO 00/56664. C02F 1/40.

Tolmie, D. 2005. UNSW. No trouble removing oil from water. Australia. <http://www.unsw.edu.au/index.html>

Uygun, A. y F. Kargi. 2004. Salt inhibition on biological nutrient removal from saline wastewater in a sequencing batch reactor. Enzyme and Microbial Technology 34: 313-318.

World Bank Group. 1998. Pollution Prevention and Abatement Handbook. 544 pp. Annual Meeting Ed.